

تحليل الأداء الفني لمحطة كهروضوئية (1.25MW) مربوطة إلى الشبكة

طالبة الماجستير: نوره المحرز كلية الهك - جامعة دمشق

اشراف الدكتور: علي السيد + د. يونس علي

المخلص

إن الهدف الرئيس من هذا المقال هو إجراء دراسة تحليلية فنية لمحطة كهروضوئية مرتبطة بالشبكة الكهربائية. تم اختيار محطة الكسوة الكهروضوئية ذات الاستطاعة (1.25 MW) من أجل الدراسة. في البداية أجريت دراسة حول المواصفات الفنية لعناصر المحطة ومحددات الأداء لها كما ورد في برنامج نظام الطاقة الكهروضوئية التابع لوكالة الطاقة الدولية (IEA) وذلك بالاعتماد على بيانات المحطة للعام 2020. ثم تم حساب المحددات، وبعدها استخدم برنامج PVsyst لإجراء نمذجة لمحطة باستطاعة مماثلة والتأكد من قيم محدّدات الأداء. فُورنت نتائج النمذجة مع النتائج المحسوبة نظرياً، وتم اقتراح استخدام ألواح من نوع Bifacial للدراسة وتحليل نتائج استخدام هذا النوع من الألواح. حيث بيّنت النتائج أن المحطة المدروسة تعمل بالقرب من التوليد المتوقع لبرنامج النمذجة المستخدم، وأن نسبة أدائها وعامل سعتها جيد.

Technical analysis of 1.25MW grid connected solar photovoltaic power plant

Abstract

The main purpose of this article is to provide a technical analysis of a grid-connected photovoltaic plant, so that the project of the photovoltaic plant/1.25/ MW was selected for this study. The plant components have been characterized and their performance parameters studied as mentioned in the International Energy Agency (IEA). So that, these parameters were calculated based on the station's data for the year 2020. Then PVsyst software was used to model a similar plant for check the values of the performance parameters. The simulation results are compared with the calculated results. In addition to that it was suggested to use Bifacial modules and the results of using this type of panels were analyzed. The results showed that the studied plant operates close to the expected generation of the simulation program which be used, and that its performance ratio and capacity factor are good.

Keywords: grid-connected photovoltaic plant, PV SYST software, Bifacial modules, performance parameters

مقدمة:

هناك العديد من التحديات التي واجهت قطاع الكهرباء في سورية، وذلك بسبب النقص الحاد في مصادر توليد الكهرباء، مما أدى إلى عدم قدرة المنظومة الكهربائية على تلبية احتياجات الطاقة المطلوبة. كما أن قضايا محدودية مصادر الطاقة ومعالجة مخلفاتها أصبحت ضرورة يجب أن تعالج وذلك للحد من أثارها السلبية كالتلوث وارتفاع درجة حرارة الأرض مما ينجم عن ذلك آثار بيئية يصعب التخلص منها.

فوجب التوسع في استخدام الطاقات المتجددة ومحاولة استغلال الطاقات المتجددة المتوفرة في سورية كحل بديل للتقليل من استخدام مصادر الطاقة التقليدية. فإنَّ سورية كباقي دول حوض البحر المتوسط غنية بالإشعاع الشمسي في معظم أيام السنة، حيث يبلغ عدد الأيام المشمسة أكثر من 300 يوم بالسنة ويبلغ وسطي شدة الإشعاع الشمسي على سطح أفقي حوالي (5.8 KWh/m^2) ، تعتبر هذه القيم مرتفعة نسبياً إذا ما قورنت مع دول أوربا [1].

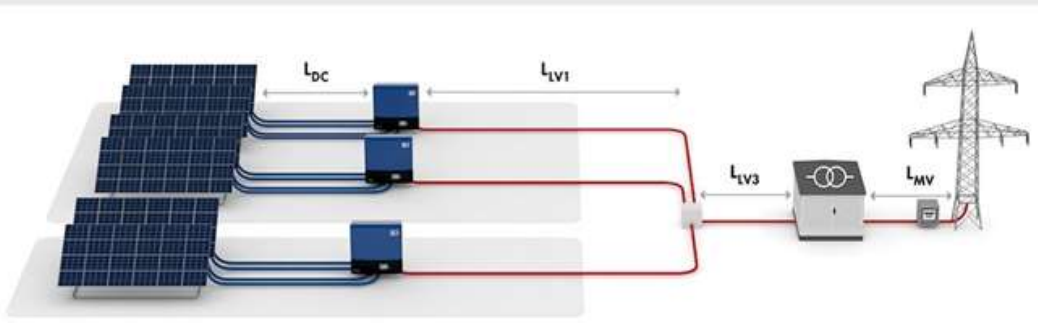
تُغذت العديد من المنظومات الكهروضوئية في كثير من المواقع، ومنها محطة الكسوة الكهروضوئية، حيث تبلغ استطاعة المحطة (1.25 MW) وتم ربطها مع الشبكة الكهربائية بطريقة الوصل المباشر على التوتر 20KV .

1- وصف النظام الكهروضوئي المرتبط بالشبكة:

يتكون النظام المرتبط بالشبكة من الألواح الشمسية والممرجات إضافة إلى تجهيزات التوصيل مع الشبكة. تقدم الألواح الشمسية تيار DC إلى المعرج الذي يحول التيار المستمر إلى متناوب، ومنه إلى المعرج المربوط إلى محولة رفع للتوتر $(0.4-20)\text{KV}$ ، ومنها إلى الشبكة كما هو موضح في (الشكل 1)، علماً أنه في النظام المدروس لا يوجد استهلاك ذاتي للمحطة وليس هناك حاجة لوجود التخزين، وكلّ الطاقة المنتجة يتم حقنها بالشبكة.

من أجل الدراسة التحليلية للمحطة، يجب تقييم الموقع الذي يشمل تحليل الموارد الشمسية للمنطقة الحاوية على المحطة، وتقييم نقاط اتصال الشبكة المحتملة وكذلك متطلبات

توصيل الشبكة، وتقييم خصائص الأرض والمنطقة، بالإضافة إلى تحليل التظليل لتحديد مدى التظليل على المنطقة. ثم اختيار مكونات نظام الطاقة الشمسية، بما في ذلك الألواح الشمسية والمعدات، باستخدام النشرات الفنية للشركات المصنعة. على هذا النحو سيكون البحث مساعد في تعزيز مزيد من الدراسة والبحث في أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المتصلة بالشبكة في البلاد. [2]



الشكل (1) مخطط لجزء من المحطة الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة

1-1- موقع المحطة :

يقع مكان المحطة بالقرب من بلدة الكسوة في ريف دمشق، وقد بدأت العمل في منتصف عام 2018، وقد تم اختيار هذا الموقع لقربه من محطة التحويل، وجود المساحة غير مستثمرة، كما يوجد مصدر مياه قرب المحطة مما يساعد في تنظيف الألواح بشكل دوري، تبلغ مساحة الأرض (24000 m²).

1-2- بيانات الإشعاع الشمسي:

أُخذت مصادر الإشعاع الشمسي المستخدمة في هذه الدراسة من حساسات موجودة في الموقع لقياس الرطوبة وسرعة الرياح ودرجة حرارة الجو ودرجة حرارة الخلية، إضافة إلى حساس لقياس الإشعاع الشمسي على سطح أفقي، مع العلم تعتمد كمية الإشعاع الشمسي على اتجاه الألواح الشمسية وميلها، ومن الأفضل دائماً توجيه اللوح الشمسي ليواجه

الجنوب بزاوية ميل مثالية للمواقع في نصف الكرة الشمالي والعكس صحيح، إنَّ توجه الألواح في موقع المحطة المدروسة نحو الجنوب بزاوية ميل للألواح بمقدار 30 درجة، مع العلم أن المنطقة المدروسة منطقة مفتوحة ليس هناك وجود لأي عوائق بعيدة أو قريبة تؤدي إلى تظليل ممكن على الألواح .

3-1 الألواح الشمسية المستخدمة:

بالنسبة لنوع الألواح المستخدم بالدراسة فهي من النوع متعدد البلورات الكريستالية Polycrystalline ، وهي باستطاعات مختلفة (240-245-250-255-260) W ، والعدد الكلي لها 5130 لوحاً، موزعة بشكل مجموعات على سلاسل حيث أن كل مجموعة تحمل الاستطاعة نفسها، ومن أجل الدراسة فقد تم اعتماد الألواح باستطاعة 250W ، التي مردودها 15.4% ، يبين الجدول (1) مواصفات اللوح من الشركة المصنعة.

الجدول (1) مواصفات اللوح الشمسي

Electrical Data	
Nominal power watt P_{max}	250 W _P
Power output tolerance P_{max}	0~+4.99 W
Maximum power voltage V_{mpp}	30.34 V
Maximum power current I_{mpp}	8.25 A
Open circuit voltage V_{oc}	37.33 V
short circuit current I_{sc}	8.69 A
Module efficiency η_m	15.4 %

1-4- المعرج :

يعد اختيار المعرج للأنظمة الكهروضوئية المتصلة بالشبكة خطوة مهمة للغاية، بسبب الدور الذي يؤديه المعرج في النظام بأكمله؛ باعتباره عنصر الربط الرئيسي مع الشبكة. يؤخذ بعين الاعتبار المعايير التالية عند اختيار المعرجات حسب [2]:

- يجب أن يكون التيار المتناوب الناتج للمعرج عبارة عن تيار متناوب ثلاثي الطور التوتر الاسمي (380V) عند (50 HZ) لجعل عملية المزامنة مع الشبكة ممكنة.
- يجب تحديد استطاعة المعرج لتتناسب مع استطاعة المصفوفة الكهروضوئية، وعادة تكون أكبر من استطاعة سلسلة الألواح PV.
- يجب أن يكون توتر دخل المستمر للمعرج يساوي وأكبر من توتر خرج المصفوفة الكهروضوئية.
- يجب أن تكون كفاءة المعرج عند التحميل الكامل أعلى من 95% لتقليل الضياعات.
- يعد جهاز ملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى المدمج (MPPT) مهماً للحصول على الخرج الأعظمي من مجموعة PV.

تم اختيار المعرج من النوع STP25000TL-30، وقد رُبط 49 معرجاً باستطاعة 25KW بين الجدول (2) المواصفات الاسمية للمعرج المستخدم.

الجدول (2) مواصفات المعرج المستخدم

$V_{DC max}$	1000v
$V_{DC mpp}$	390-800v
$I_{DC max}$	33A/33A
$I_{SC pv}$	43A/43A
$V_{AC,r}$	380/400/415V
$P_{AC,r}$	25000W
S_{max}	25000VA
$f_{AC,r}$	50/60HZ
$I_{AC max}$	36.2A
$\cos \emptyset$	1

1-5- مكونات إضافية للمحطة:

تتضمن هذه المكونات مجموعة الكابلات والمحولات بالإضافة لنظام التأسيس والحمايات ونظام المراقبة. تستخدم كابلات توتر مستمر بمقطع (1x6) مم² للوصل بين سلاسل اللواقط الكهروضوئية والمعرج، وكابلات مقطع (16x4) مم² للوصل بين المعرج وعلبة التوزيع الرئيسية، وكابلات مفردة مقطع (240x1) مم² للوصل بين علبة التوزيع الرئيسية والمحولة.

يتم تركيب كل معرج بالقرب من مصفوفة سلاسل اللواقط الكهروضوئية المربوطة معه، وذلك للتخفيف قدر الإمكان من أطوال كابلات التيار المستمر المستخدمة، بعدها يتم وصل المعرجات إلى لوحات تجميع ومنها إلى لوحة التوزيع الرئيسية لطرف التوتر المنخفض بالقرب من المحولة، وبالنسبة للمحولات ومستلزماتها فقد تم تركيب محولتي رفع توتر (0.4-20)KV باستطاعة (630)KVA، وهذه المحولات مطابقة المواصفات الفنية في المنظومة الكهربائية السورية.

جميع المعرجات متصلة مع بعضها بجهاز cluster controller ، حيث يقوم هذا الجهاز بجمع البيانات ومنها إلى الحاسب، وبذلك يوفر نظام المراقبة للعميل إمكانية التحقق من: حجم الطاقة المولدة، حجم الطاقة المنقولة، التوتر والتيار المستمر، التوتر والتيار المتناوب.

1-6- تصميم نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية المتصل بالشبكة بقدرة (1.25 MW):

تتألف المنظومة المستخدمة في محطة الكسوة من 49 معرجاً باستطاعة 25 KW للواحد، حيث لكل معرج وحدتي MPPT كل وحدة لها ثلاث مداخل مما يعطي مجموعة 6 مداخل لكل معرج وكل سلسلة عبارة عن (18 أو 21) لوح طاقة شمسية.

تحسب الطاقة النظرية المتوقعة إنتاجها من المحطة سنوياً بالعلاقة:

$$E_{ideal} = KWP \times PSH \times 365$$
$$= 1299 \times 5.8 \times 365 = 2749983 \text{ KWh}$$

حيث إن عدد الألواح المركبة 5130 لوح، والاستطاعة الأسمية الإجمالية 1299 KW، وهي مبنية في الجدول (3)، متوسط عدد ساعات الإشعاع الشمسي (PSH) 5.8 ساعة حسب أطلس الشمس في سوريا [3]، فتكون الطاقة النظرية المتوقعة إنتاجها من المحطة 2750MWh.

الجدول (3) الاستطاعة الكهروضوئية على مدخل المعرجات

P_{pv}	INVERTER'S NUM
24390	inv1, inv2, inv3, inv4, inv5, inv6, inv7
24075	inv8, inv9, inv10, inv11, inv12, inv13, inv15, inv16
24435	inv14, inv17, inv18
27270	inv39, inv40, inv44, inv45
27540	inv26, inv47, inv46
27000	inv49, inv48, inv20, inv21, inv24, inv31, inv33, inv38, inv41
26730	inv22, inv23, inv25, inv26, inv27, inv28, inv29, inv30, inv32, inv50, inv51, inv34, inv35, inv36, inv37, inv43

2- تحليل أداء المحطة:

- استخراج محددات تقييم الأداء الفني للمحطة حسابياً.
- نمذجة المحطة باستخدام برنامج PVsyst.
- مقارنة الأداء بين القيم الفعلية والقيم الحسابية .

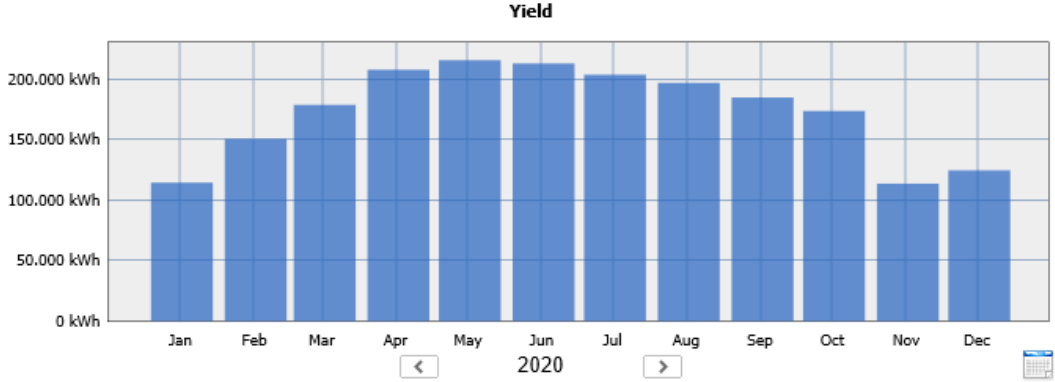
تم وضع عدة محددات الأداء من قبل برنامج نظام الطاقة الكهروضوئية التابع لوكالة الطاقة الدولية (IEA)، وتم وصفها في معيار IEC 61724، الذي يحدد أداء النظام العام فيما يتعلق بإنتاج الطاقة والمصادر الشمسية والطاقة المقدره والتأثير الكلي لضياعات النظام، وهذه المحددات هي الإنتاج المرجعي (Y_r) ، وإنتاج المصفوفة (Y_a) ، والإنتاج النهائي (Y_f)، وأخيراً يتم تحديد نسبة الأداء (P_r) على أنها نسبة كفاءة النظام. إذاً منهجية تحليل أداء المحطة تعتمد على هذه المحددات لتحديد أداء النظام بشكل كامل. [4]

2-1- تقدير الطاقة التي ينتجها النظام الكهروضوئي Total energy yield :

إجمالي إنتاج الطاقة هو إجمالي كمية الكهرباء التي يتم حقنها في الشبكة بواسطة نظام الطاقة الشمسية المرتبط بالشبكة بقدرة (1.25 MW). تمت زيارة المحطة وأخذ بيانات إنتاج الطاقة الكهربائية عام 2020، ثم حُصِّلت النتائج للحصول على الطاقة المنتجة من المعرجات لكل شهر من سنة 2020، ويوضح الجدول (4) قيم الطاقة المنتجة، يوضح الشكل (2) النتائج بيانياً حيث تسجل الأشهر أيار وحزيران أعلى إنتاج بالطاقة، وتسجل الأشهر كانون الأول وتشرين الثاني وكانون الثاني أقل إنتاج بالطاقة بالسنة.

الجدول (4) إنتاج المحطة عام 2020

الشهر	الإنتاج الشهري MWH
كانون الثاني	116
شباط	145
آذار	178
نيسان	206
أيار	216
حزيران	214
تموز	202
آب	197
أيلول	183
تشرين الأول	175
تشرين الثاني	117
كانون الأول	124
إجمالي الإنتاج E_{real}	2073



الشكل (2) المنحني البياني لإنتاج المحطة عام 2020

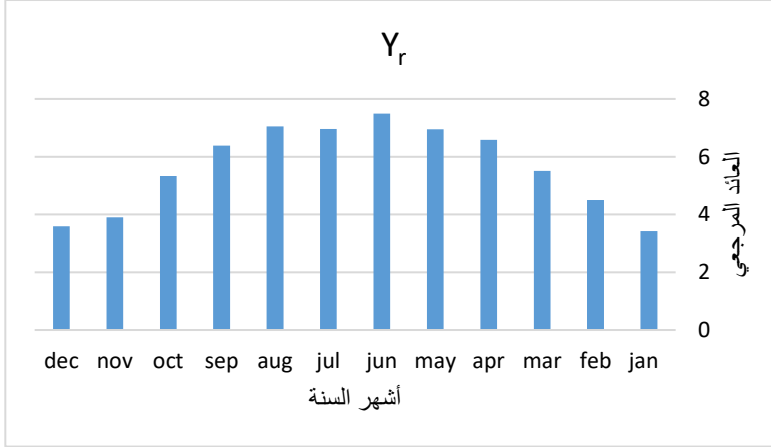
2-2- الإنتاج المرجعي Reference Yield:

الإنتاج المرجعي Y_r هو نسبة إجمالي الإشعاع اليومي الذي يصل إلى سطح المصفوفة KWh/m^2 ، إلى الإشعاع المرجعي للمصفوفة ($1000 Wh/m^2$) بالشروط القياسية. ويمثل عدد ساعات الذروة اليومية للشمس، أو عدداً مكافئاً من الساعات عند الإشعاع المرجعي في اليوم ويقدر بالساعة. كما يحدد الإنتاج المرجعي أيضاً مقدار الإشعاع الشمسي المتاح للتركيب في موقع معين، والشكل (3) يمثل مخطط الإنتاج المرجعي، ويعطى بالمعادلة حسب [4]:

$$Y_r = \frac{H_t}{G_o} \quad (\text{h/day})$$

حيث H_t الإشعاع الكلي على سطح المصفوفة (Wh/m^2).

G_o الإشعاع الشمسي بالشروط النظامية (Wh/m^2).



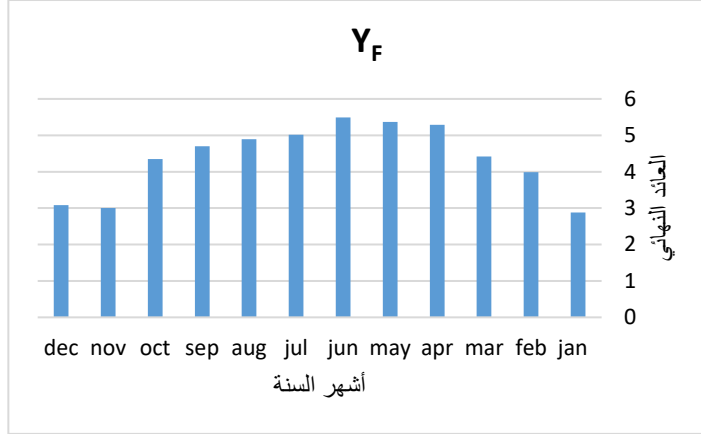
الشكل (3) الإنتاج المرجعي

3-2 - عامل الإنتاج النهائي Final PV array Yield:

كمتحول إضافي يؤخذ بعين الاعتبار ساعات الحمل الكامل الذي يوافق عامل الإنتاج النهائي Y_f ، وهو حاصل قسمة الإنتاج خلال فترة زمنية محددة على الاستطاعة الاسمية للمصفوفة الكهروضوئية، يمكن أن يكون الزمن المرجعي يوماً أو أسبوعاً أو شهراً أو سنة [5].

إذا تم حساب ساعات الحمل الكامل للسنة الكاملة عندها سنحصل على التقدير الدقيق للإنتاج النوعي لهذا النظام، إذ يمثل عدد الساعات التي ستحتاج المصفوفة الكهروضوئية إلى العمل بقوتها وتوجهها في حالة معينة لتوفير نفس المقدار من صافي إنتاج الطاقة، ويعطى بالمعادلة والشكل (4) يوضح مخطط الإنتاج النهائي لعام 2020.

$$Y_f = \frac{E_{real}}{P_{npv}} \quad (\text{kWh/kWp/day})$$



الشكل (4) الإنتاج النهائي

4-2- نسبة الأداء : Performance Ratio

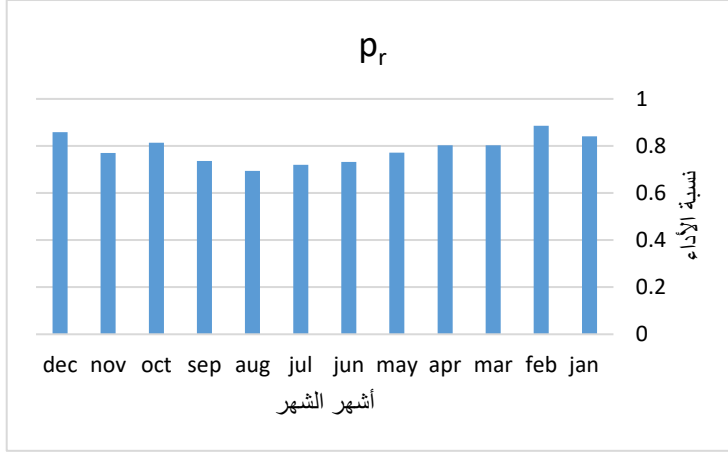
تعبّر عن نسبة المقدار الفعلي للطاقة المحقونة في الشبكة بفترة زمنية إلى المقدار النظري للطاقة المولدة من المنظومة الكهروضوئية في الشروط القياسية. ويستخدم هذا العامل لتقدير جودة التركيب، وهو محدد مستقل عن الموقع، رمزه (P_r)، يؤخذ كنسبة بين الطاقة الحقيقية المنتجة إلى الطاقة النظرية المتوقع إنتاجها [5].

$$P_r = \frac{E_{real}}{E_{ideal}}$$

وتعرف أيضاً نسبة الإنتاج النهائي للنظام إلى الإنتاج المرجعي حسب [4] :

$$P_r = \frac{Y_f}{Y_r}$$

يوضح الشكل (5) مخطط نسبة الأداء، حيث يظهر أنها كانت سنوياً تقريباً حوالي 79%، وقد كانت أعلى قيمة في شهر كانون الأول وشباط وأقل قيمة في شهر آب وتموز. يدل انخفاض قيم نسبة الأداء يدل على التشغيل غير الطبيعي للنظام وحدثت أعطال في بالمرج.



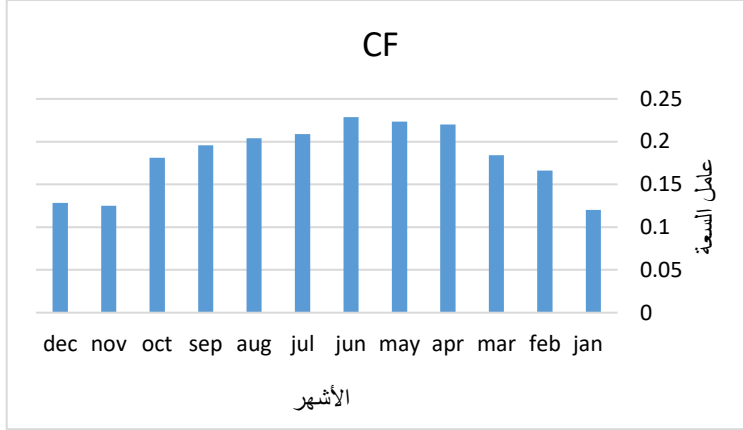
الشكل (5) نسبة الأداء لعام 2020

2-5- عامل السعة Capacity factor:

عامل السعة لمحطة هو نسبة الإنتاج الفعلي لمحطة الطاقة خلال فترة زمنية ومخرجاتها المحتملة إذا كانت تعمل بكامل طاقتها الإنتاجية طوال الوقت، ورياضياً هو القيمة الإجمالية للطاقة التي تنتجها محطة خلال فترة زمنية مقسومة على كمية الطاقة التي كان من الممكن أن تنتجها المحطة بكامل طاقتها وحسب [2] يُعطى بالمعادلة:

$$CF = \frac{\text{annual energy output (kwh)}}{\text{nameplate capacity} \times 365 \times 24}$$

يبلغ متوسط القيمة السنوية لعامل CF حوالي 18%، يرجع الاختلاف في عامل السعة إلى ضياعات النظام نتيجة للظروف المناخية المحلية، وكلما زاد معامل السعة انخفضت تكلفة توليد الكهرباء، يوضح الشكل (6) مخطط لعامل السعة لسنة 2020 .



شكل (6) مخطط عامل السعة

2-6- ضياعات المحطة :

هناك العديد من العوامل التي تؤثر على ناتج النظام كالأوساخ والتظليل وعدم التطابق بين الألواح، ودرجة الحرارة التي يعمل عندها الخلايا لها تأثير كبير على خرج الطاقة، ويمكن تصنيف هذه الضياعات التي تكبدتها أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة تحت عنوانين رئيسيين ضياعات المصفوفة Array losses وضياعات النظام System losses [4].

• ضياعات المصفوفة L_C Array capture loss :

ترتبط ضياعات المصفوفة بجمع وتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية مستمرة، وتقسّم إلى ضياعات حرارية بسبب ارتفاع درجة حرارة الخلية عن 25 درجة مئوية وضياعات متنوعة منها بسبب الأسلاك والديودات، وانخفاض الإشعاع الشمسي، والتظليل، وعدم التطابق، وأخطاء تتبع نقطة الاستطاعة القصوى، والغبار وأخطاء بتوصيل الموديولات وتعطى بالمعادلة:

$$L_C = Y_r - Y_A$$

• ضياعات النظام L_S System losses :

ترتبط ضياعات النظام بتحويل التيار المستمر الذي تنتجه الخلايا الشمسية إلى تيار متناوب عن طريق المعرجات لتغذية الشبكة، أي تضم بشكل أساسي ضياعات المعرج، وتحسب بالعلاقة:

$$L_S = Y_a - Y_f$$

فيكون إجمالي الضياعات حسب المعادلة التالية:

$$L = L_C + L_S = Y_r - Y_f$$

والجدول الآتي (5) يوضح كافة الحسابات لبارامترات الأداء للمحطة الكهروضوئية :

الجدول (5) حساب بارامترات الأداء حسب بيانات عام 2020

Losses	CF	P_r	Y_f (kWh/kWp/day)	Y_r (h/day)	الإشعاع الشمسي wh/m^2	الطاقة المنتجة MWh	الشهر
0.55	0.12	0.84	2.88	3.43	3426	116	كانون الثاني
0.51	0.17	0.89	3.99	4.50	4499	145	شباط
1.08	0.18	0.80	4.42	5.50	5503	178	آذار
1.30	0.22	0.80	5.29	6.58	6584	206	نيسان
1.59	0.22	0.77	5.36	6.95	6949	216	أيار
2.00	0.23	0.73	5.49	7.49	7493	214	حزيران
1.95	0.21	0.72	5.02	6.96	6961	202	تموز
2.16	0.20	0.69	4.89	7.05	7052	197	آب
1.68	0.20	0.74	4.70	6.38	6379	183	أيلول
0.99	0.18	0.81	4.35	5.34	5337	175	تشرين الأول
0.90	0.13	0.77	3.00	3.90	3899	117	تشرين الثاني
0.51	0.13	0.86	3.08	3.59	3588	124	كانون الأول
1.27	0.18	0.79	4.37	5.64	5639	2073	المجموع

3- النمذجة باستخدام برنامج PV SYST :

تم إجراء التقييم باستخدام برنامج PVsyst الذي يحتوي على قاعدة بيانات شاملة لبيانات الأرصاد الجوية لمواقع مختلفة، ومكونات النظام ومواصفاتها من الشركات المصنعة ويمكنها محاكاة أداء النظام الكهروضوئي، مع الأخذ في الاعتبار الضياعات المحتملة التي قد يتعرض لها النظام، تم إدخال المعطيات الآتية:

- موقع المحطة ومصدر المعلومات من موقع NASA (الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة).
 - عدد الألواح ومواصفاتها.
 - عدد المعرجات ومواصفاتها.
 - الضياعات الأومية في الكابلات بشكل تقريبي.
 - تم اعتبار نسبة الغبار على الألواح 0% وذلك لوجود عملية تنظيف دورية للألواح.
 - نسبة 1% ضياع بسبب عدم تتطابق استطاعة الألواح.
- وقد كانت نتيجة المحاكاة كما موضح في الجدول(6):

يتم توليد الطاقة القصوى في شهر تموز بمقدار (211MWh)، والحد الأدنى للطاقة في شهر كانون الأول (111MWh)، إجمالي كمية الطاقة التي يتم حقنها في الشبكة طوال العام هو (2049.1MWh) ، وهذه النتائج قريبة من النتائج الحسابية، مع اعتبار أن الإشعاع الشمسي بنتائج النمذجة مأخوذ من محطة رصد بعيدة عن المحطة أما الإشعاع الشمسي بالحسابات النظرية مأخوذ من قيم الحساس الموجود داخل المحطة.

الجدول (6) نتائج المحاكاة باستخدام برنامج PVSyst

New simulation variant
Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	80.0	31.30	7.04	121.2	109.0	124.7	122.3	0.793
February	92.1	35.80	7.95	124.6	113.6	132.5	129.9	0.820
March	139.2	50.20	10.98	167.9	154.0	177.8	174.4	0.817
April	174.0	57.30	16.08	185.2	169.9	189.9	186.2	0.790
May	219.8	60.10	20.06	209.5	191.9	209.6	205.5	0.771
June	237.3	54.30	22.56	214.9	196.9	211.5	207.3	0.758
July	239.9	54.60	24.71	221.9	203.5	216.0	211.7	0.750
August	215.1	51.10	24.98	218.8	201.4	213.2	209.0	0.751
September	171.3	44.10	23.24	196.7	181.8	193.6	189.8	0.759
October	127.7	40.00	19.56	167.9	154.1	169.2	165.9	0.777
November	88.2	31.20	13.68	131.4	118.9	131.2	128.6	0.769
December	72.5	28.80	8.73	114.4	101.9	113.8	111.5	0.766
Year	1857.1	538.80	16.68	2074.3	1897.0	2082.9	2041.9	0.774

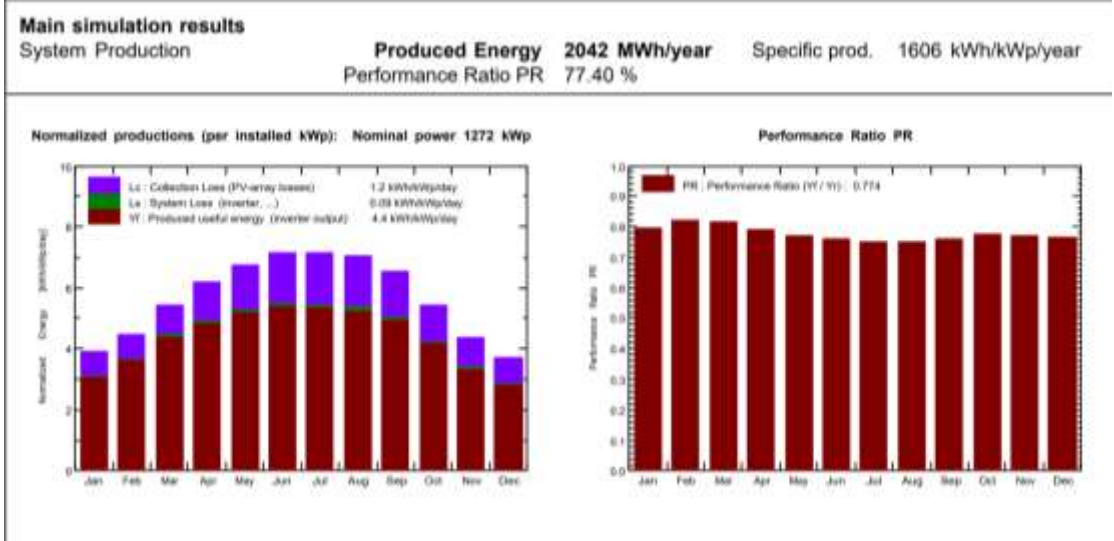
Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
	DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T_Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in col. plane	PR	Performance Ratio

3-1- نتائج النمذجة:

تبين أن معدل الإشعاع الأفقي الإجمالي السنوي يبلغ 1857.1 kWh/m^2 . كانت طاقة الإشعاع الشمسي الإجمالية التي تسقط على مستوى المجمع سنوياً KWh/m^2 2074.3، إجمالي الطاقة التي تم الحصول عليها من خرج المصفوفة الكهروضوئية هو 2082.9 KWh.

بالنسبة لمحددات الأداء فإن معدل الأداء السنوي بالمحاكاة 77.4%، يلاحظ أنه ليس هناك فرق كبير بين نسبة الأداء التي تم الحصول عليها باستخدام برنامج PVSyst مع نسبة الأداء الفعلي لمحطة الطاقة الشمسية التي تم حسابها سابقاً بالجدول (5)، يبين الشكل (7) مخطط نسبة الأداء الناتج عن المحاكاة.

وإنَّ قيم ضياعات المصفوفة L_C كانت 1.2 kWh/kWp/day ، تم تسجيل قيمة L_S ضياعات النظام 0.09 kWh/kWp/day ، وأيضاً قيمة الإنتاج النهائي Y_f بلغت 4.4 kWh/kWp/day ، كما هو موضح في الشكل رقم (7).

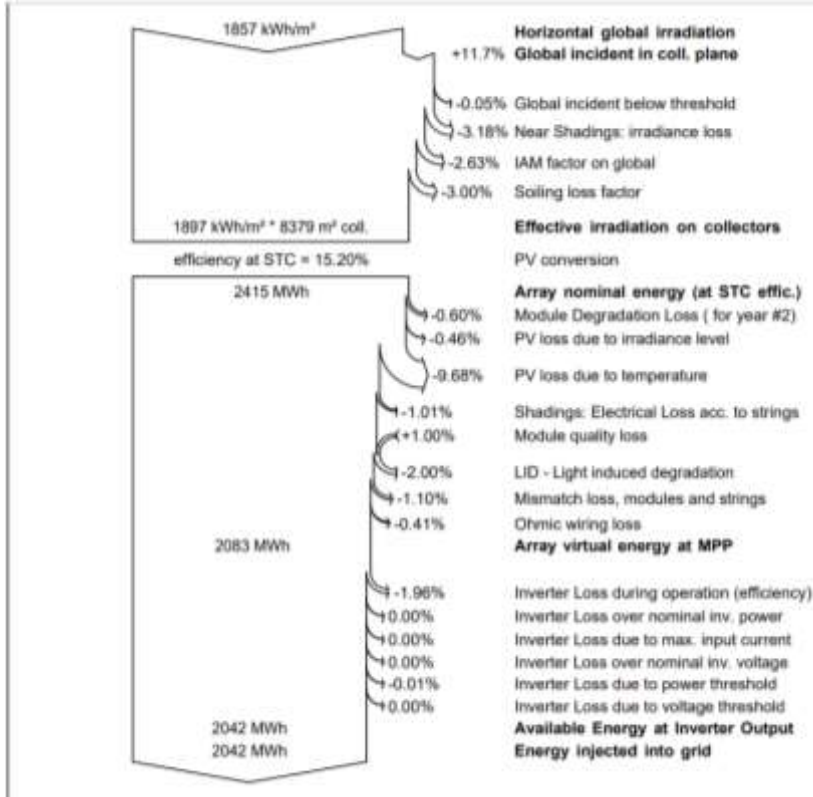


الشكل (7) محددات الأداء الناتجة عن المحاكاة

3-2- مخطط الضياعات:

تتحول الطاقة الشمسية الساقطة على الألواح الشمسية إلى طاقة كهربائية حيث يبلغ معدل الإشعاع الأفقي الإجمالي 1857.1 kWh/m^2 ، والإشعاع الفعال على مستوى المجمع هو 1897 kWh/m^2 ، فتكون طاقة المصفوفة الاسمية بعد التحويل الكهروضوئي 2415 MWh ، باعتبار أن كفاءة الألواح الكهروضوئية هي 15.20% في ظروف الاختبار القياسية (STC)، وبعد حساب ضياعات التقادم والحرارة والتظليل وضياعات عدم التطابق والضياعات الأومية وإضافة جودة الألواح، فتكون طاقة المصفوفة الكهربائية التي تم الحصول عليها هي 2083 MWh ، ثم بعد إضافة ضياعات المعرج تكون الطاقة المتاحة التي نحصل عليها عند خرج المعرج 2042 MWh ، كما موضح بالشكل (8)، يُلاحظ أن قيمة الطاقة المنتجة المحسوبة عن طريق المحاكاة قريبة من

القيمة الفعلية المحسوبة من المحطة، مع العلم أن دقة الحسابات على البرنامج تتأثر بمعلومات الطقس وقيم الإشعاع الشمسي المدخلة.



الشكل (8) مخطط الضياعات لسنة كاملة

3-3- النمذجة باستخدام أنواع ألواح أخرى:

أجريت نمذجة باستخدام ال PVsyst لألواح من نوع Bifacial شفافة من الطرفين وباستطاعة أكبر 535W ومردود أفضل 29.50%، وذلك باعتبار أن استطاعة الألواح المركبة في المحطة منخفضة، إن الهدف من استخدام هذا النوع من الألواح الكهروضوئية، هو الاستفادة من الإشعاع الشمسي على السطح الخلفي للخلايا وبالتالي تزيد إنتاجية المحطة kWh، وبالتالي تخفيض سعر الطاقة المولدة، أي أنه عند نفس المساحة كان عدد الألواح حسب النمذجة 3168 لوح والشكل (9) يبين مدخلات البرنامج.

PV Array Characteristics				
PV module	Si-mono	Model	PS-M144	
Custom parameters definition	Manufacturer	Philadelphia Solar		
Number of PV modules	In series	16 modules	In parallel	198 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	3168	Unit Nom. Power	535 Wp
Array global power	Nominal (STC)	1695 kWp	At operating cond.	1530 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	597 V	I mpp	2564 A
Total area	Module area	8209 m²	Cell area	5748 m ²
Inverter	Model	Sunny Tripower 25000TL-30		
Original PVsyst database	Manufacturer	SMA		
Characteristics	Operating Voltage	350-800 V	Unit Nom. Power	25.0 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	63 units	Total Power	1575 kWac
			Prom ratio	1.08

الشكل (9) البيانات المدخلة للبرنامج

بينت نتائج النمذجة أن نسبة الأداء %88.75 والإنتاج النهائي 5.04 kWh/kWp/day ، أما نسب ضياعات L_C ضياعات بالمصفوفة 0.54kWh/kWp/day ، وتم تسجيل قيمة L_S ضياعات النظام 0.1 kWh/kWp/day ، كما موضح بالشكل (10) الذي يظهر نتائج النمذجة.

ومخطط الضياعات بالشكل (11) يظهر أن الطاقة الكهربائية الناتجة 3119 MWh/year.

تحليل الأداء الفني لمحطة كهروضوئية (1.25MW) مربوطة إلى الشبكة

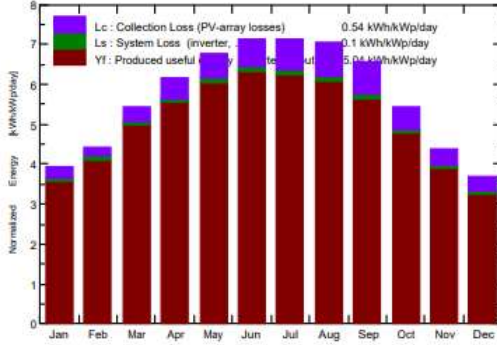
Main simulation results

System Production

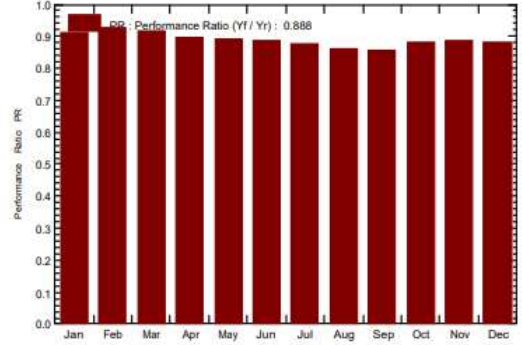
Produced Energy 3119 MWh/year
Performance Ratio PR 88.75 %

Specific prod. 1840 kWh/kWp/year

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1695 kWp



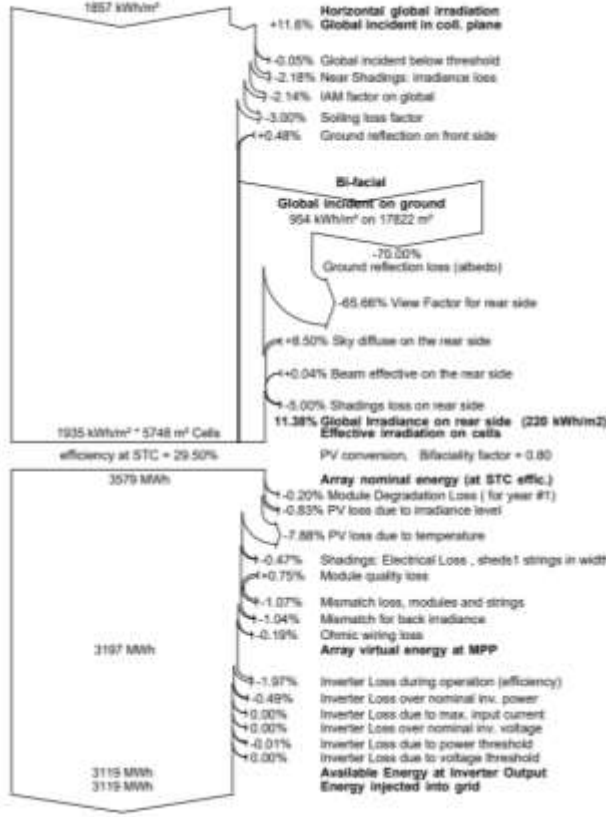
Performance Ratio PR



New simulation variant Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	80.0	31.30	7.04	121.6	113.4	191.2	187.5	0.910
February	92.1	35.80	7.95	124.4	116.3	199.5	195.6	0.927
March	139.2	50.20	10.98	168.0	156.7	266.7	261.5	0.918
April	174.0	57.30	16.08	184.9	172.3	287.4	281.7	0.899
May	219.8	60.10	20.06	209.3	194.8	323.1	316.7	0.893
June	237.3	54.30	22.56	214.3	199.6	328.7	322.1	0.887
July	239.9	54.60	24.71	221.5	206.3	335.4	328.7	0.875
August	215.1	51.10	24.98	218.5	204.1	326.4	319.8	0.864
September	171.3	44.10	23.24	196.8	184.3	292.0	286.1	0.858
October	127.7	40.00	19.56	168.3	157.5	256.1	251.1	0.881
November	88.2	31.20	13.68	131.4	122.9	201.5	197.6	0.887
December	72.5	28.80	8.73	114.5	106.4	174.1	170.7	0.880
Year	1857.1	538.80	16.68	2073.4	1934.5	3182.0	3119.0	0.888

الشكل (10) نتائج النمذجة باستخدام ألواح Bifacial



الشكل (11) مخطط الضياعات باستخدام ألواح Bifacial

يختلف مخطط الضياعات باستخدام هذا النوع من الألواح عن مخطط الألواح العادية، حيث يضاف إليه بعد حسابات نسب الإشعاع الشمسي الساقط على الأرض نسبة الإشعاع الشمسي المنعكس من سطح الأرض 70%، وتأثير الإشعاع الشمسي الساقط على الوجه الخلفي للخلايا 65.66% والضياعات الإضافية، وتعتبر الأشعة الساقطة على الوجه الخلفي للألواح كأنها أشعة إضافية ثم تكمل الضياعات كما مخطط الضياعات السابق. يتبين من المخطط أن نسبة الزيادة بالإنتاجية 0.8 التي تعتمد على القانون:

$$Bifaciality\ factor = \frac{\eta_{front}}{\eta_{rear}} \times 100$$

يعتبر PVsyst أن سلوك الإنتاج الكهروضوئي على السطح الخلفي مشابه لسلوكه على السطح الأمامي، لذلك سيتم في المحاكاة إضافة الإشعاع الموجود على الجانب الخلفي إلى الإشعاع الأمامي، سيؤدي ذلك إلى زيادة إجمالي الإشعاع الشمسي القابل للاستخدام، وبالتالي يؤثر على الكفاءة، يكون عامل ثنائية الوجه دائماً أقل من 1 (حسب [6] قد يصل إلى 0.8 إلى 0.9 ، وقد يكون أقل بكثير بالنسبة لبعض التقنيات).

خاتمة:

قدمت الدراسة تقييم لأداء محطة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المربوطة إلى شبكة ذات الاستطاعة (1.25 MW)، والتي تم تركيبها في منطقة الكسوة. كانت الطاقة المحقونة بالشبكة (2042 MWh) خلال عام 2020. فيما يتعلق بمقارنة المحددات الرئيسية المسجلة في المحطة مع نتائج محاكاة أنظمة الطاقة الشمسية، تبين أن المحطة تعمل بالقرب من التوليد المتوقع لبرامج نمذجة الطاقة. كما أن أداء وعامل سعة هذه المحطة كانت جيدة.

توفر الدراسة نظرة ثاقبة لتحديد الموقع والتكنولوجيا الكهروضوئية المناسبة للاستخدام على نطاق واسع لنظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية في سورية. تفيد هذه المعلومات في تقييم الفوائد التشغيلية للمحطة بناءً على ناتج الطاقة الصافي، يمكن تطبيق المحددات المسجلة والخبرة التشغيلية لنظام الطاقة الكهروضوئية على المشاريع الكبيرة في المستقبل.

المراجع References:

- [1] م. ق. بولاد، دراسة حول واقع مشاريع الطاقات المتجددة التي تم تنفيذها خلال عام 2018 والتي سيتم تنفيذها عام 2019 في سورية، دمشق: المركز الوطني لبحوث الطاقة ، 2018.
- [2] E. N. KUMI, *TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF A 1MW GRID-CONNECTED SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM AT KNUST-KUMASI*, Ghana: Kwame Nkrumah University, 2012.
- [3] "Global Solar Atlas ،G. S. Atlas world bank group"، [متصل]. Available: <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.523088,8.173828,3> [تاريخ الوصول 18 January 2021].
- [4] "Performance evaluation of 10 MW grid ،B. K. Shiva Kumar ،connected solar photovoltaic power plant in India "، *Energy Reports* ، 2015 11
- [5] ع. حمزة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق ، 2008.
- [6] Available: "pv syst 7 help" [متصل]. https://www.pvsyst.com/help/index.html?bifacial_module.htm [تاريخ الوصول 22 2 2022].
- [7] *M. A. A. H. A.-W. A. H. A.-B. M. T. C. Hussein A. Kazema . "Techno-economic feasibility analysis of 1 MW photovoltaic grid ،connected system in Oman "، *Case Studies in Thermal Engineering* ، september 2017
- [8] A. K. P. K. R. M. R. K. Amit Kumer Podder, "Economic Analysis of a Grid Connected PV Systems: A Case Study in Khulna," *European Journal of Engineering Research and Science*, July 2018.

